

ФЕРРОЗОНДОВЫЙ КОМПЬЮТЕРНЫЙ МАГНИТОМЕТР

Описывается феррозондовый магнитометр, сопряженный с персональным компьютером посредством USB – порта и получающий питание через этот порт. Феррозондовый преобразователь прибора выполнен с использованием миниатюрного импульсного трансформатора заводского изготовления. Это упростило изготовление преобразователя. Магнитометр позволяет измерять индукцию постоянного магнитного поля до 100 микротесла, при разрешающей способности 1 микротесла. Результаты измерений выводятся на дисплей компьютера и могут быть им сразу обработаны или записаны в долговременную память.

Ключевые слова: магнитометр, феррозондовый преобразователь, персональный компьютер, импульсный трансформатор, магнитная индукция, USB-порт, долговременная память.

A. V. Volkov, Yu. Ya. Reutov, V. I. Pudov

A COMPUTER FLUXGATE MAGNETOMETER

Is described fluxgate Magnetometer, connected with the personal computer by means of USB - port and receiving a feed through this port. Fluxgate the Sensor of the device is executed with use of the tiny pulse transformer of factory manufacturing. It has simplified manufacturing the Sensor. A Magnetometer allows to measure an induction of a constant magnetic field up to 100 a, at resolution 1. The results of measurements are deduced on the display of the computer and can by him at once be processed or are written down in long-term memory.

Keywords: magnetometer, fluxgate sensor, computer, pulse transformer, magnetic induction, USB-port, long-term memory.

В настоящее время выпускаемая феррозондовая аппаратура не охватывает весь диапазон измерений [1–6], проводимых, например, в лабораторных условиях. Поэтому в работе рассматривается возможность разработки компьютерной модели для лабораторных исследований.

При разработке феррозондовой аппаратуры основные трудности связаны

со сложной технологией изготовления его основного узла – феррозондового преобразователя (ФП) [7–14]. Например, в работе [5] описан достаточно простой вариант изготовления феррозондового преобразователя, который осуществляют путем намотки на кольцевой ферритовый сердечник, с внутренним диаметром 3 мм, сотни витков провода диаметра 0,1 мм. Упростить этот процесс можно путем применения в технологии изготовления ФП некоторых изделий промышленного изготовления. Например, импульсного трансформатора, уже содержащего необходимые обмотки [10]. Однако габариты описанного в [10] феррозонда могут оказаться неприемлемыми для использования в конкретном эксперименте.

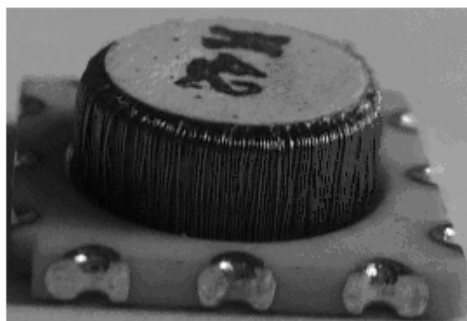


Рис. 1. Трансформатор ММТИ-42



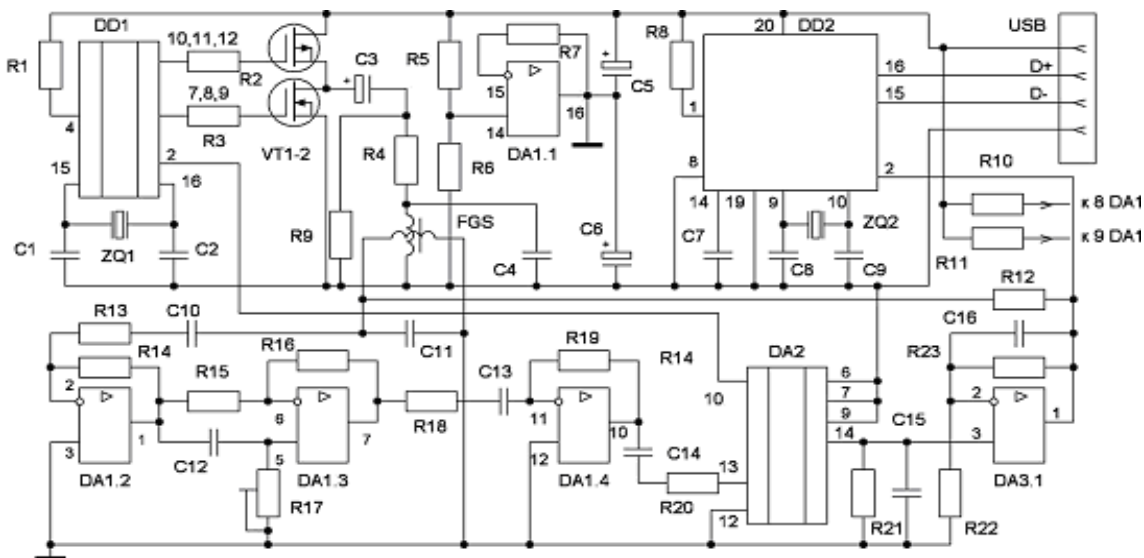
Рис. 2. Внешний вид феррозонда

В данной работе описывается магнитометр с использованием для ФП трансформатора гораздо меньших размеров. Кроме того, данный магнитометр органично сочетается с переносным персональным компьютером (например, нетбуком), что позволяет запоминать и обрабатывать результаты измерений, минуя промежуточные стадии.

Напомним, что феррозондовый преобразователь состоит из кольцевого ферромагнитного сердечника, снабженного тороидальной намагничивающей обмоткой и охватывающей этот сердечник цилиндрической измерительной обмотки, преобразующей пульсации потока измеряемого постоянного поля в ЭДС с частотой второй гармоники.

В данном магнитометре в качестве модулятора потока используется импульсный трансформатор ММТИ-42 модульного исполнения размерами $9,7 \times 9,7 \times 3,5$ мм³, показанный на рис. 1. Трансформатор содержит три

одинаковые тороидальные обмотки. В нашем случае в качестве обмотки возбуждения зонда используется одна из них (любая).



Принципиальная схема магнитометра приведена на рис. 3. Его питание осуществляется от персонального компьютера через USB порт напряжением 5 вольт. Для обеспечения работы операционных усилителей это напряжение расщепляется на два по 2,5 вольта каскадом на DA1.1. Микроконтроллер DD1 вырабатывает управляющие импульсы для генератора возбуждения и синхронного детектора второй гармоники. Частота тока возбуждения составляет 2445 герц. Генератор возбуждения представляет собой последовательный инвертор, выполненный на сборке полевых транзисторов VT1-2. Он вырабатывает симметричные двухполярные прямоугольные импульсы размахом почти 5 вольт. Пауза между импульсами равна продолжительности импульса (см. рис. 4).

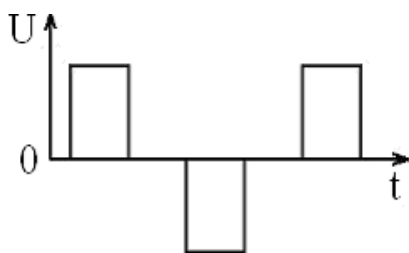


Рис. 4. Импульсы на обмотке возбуждения

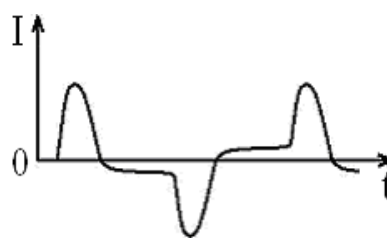


Рис. 5. Ток возбуждения

Обмотка возбуждения феррозонда FGS (Flux Gate Sensor), представляющая резко нелинейную нагрузку генератора, настроена в резонанс с частотой его выходного напряжения (конденсатор C4). Благодаря феррорезонансу, амплитуда тока в обмотке достигает 300 мА при общем токе, потребляемом всем устройством от ПК, не превышающем 15 мА. Осциллограмма тока возбуждения представлена на рис. 5.

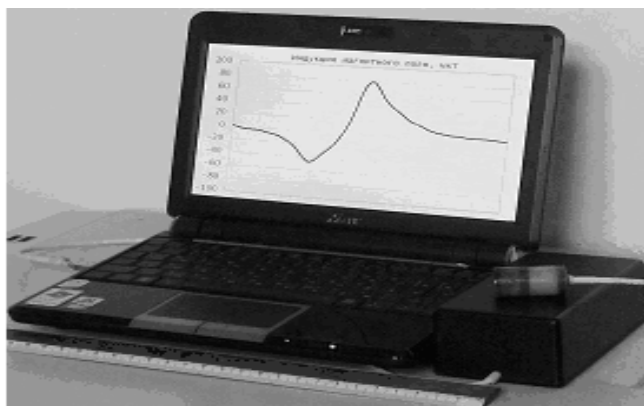


Рис. 6. Магнитометр совместно с нетбуком

Измерительная обмотка феррозонда настроена в резонанс с частотой полезного сигнала (4890 герц) конденсатором C11. Напряжение второй гармоники усиливается каскадом DA1.2, а затем, посредством фазовращателя DA1.3, согласуется с фазой напряжения коммутации синхронного детектора на микросхеме DA2. Данный детектор осуществляет двухполупериодное синхронное выпрямление напряжения второй гармоники с удвоением его амплитуды [11]. Постоянное напряжение с выхода детектора, пропорциональное измеряемому полю, усиливается каскадом на DA3.1, а затем с помощью резистора R12 превращается в ток автокомпенсации, подаваемый в измерительную обмотку феррозонда. Постоянное магнитное поле, создаваемое этой обмоткой, практически полностью автоматически компенсирует

измеряемое (также постоянное) поле, действующее на сердечник феррозонда. Одновременно, напряжение с выхода DA3.1 поступает на вход десятиразрядного АЦП на микроконтроллере DD2, где преобразуется в цифровой код и посредством USB-интерфейса передается в ПК. Нулевому полю соответствует 512 двоичных отсчетов АЦП.

Программа, созданная в среде разработки Microsoft Visual Studio C++, выводит на экран компьютера данные об индукции измеряемого магнитного поля в виде, удобном для наблюдения и математической обработки.

Данный вариант прибора имеет шкалу $\pm 100 \mu\text{T}$ с дискретностью $1 \mu\text{T}$. Уход его нуля, при размещении феррозонда в пермалловом магнитном экране [12], не превышает $1 \mu\text{T}$ за 8 часов работы. Фотография магнитометра, совместно с нетбуком, представлена на рис. 6.

По вопросам изготовления магнитометра обращаться по адресу pudov@imp.uran.ru (Реутов Ю. Я.).

Работа выполнена по бюджетной теме «Диагностика», № 01201463329.

Список литературы

1. Пудов В. И., Реутов Ю. Я., Коротких С. А. // Патент РФ № 2123302. Полусоискатель. – Бюл. изобр. – № 35, II ч. – 1998.
2. Пудов В. И., Реутов Ю. Я., Коротких С. А. // Патент РФ № 2123303. Феррозондовый полусоискатель. – Бюл. изобр. – № 35, II ч. – 1998.
3. Пудов В. И., Реутов Ю. Я., Коротких С. А. // Патент РФ № 2132638 Устройство для определения местоположения инородного ферромагнитного тела в полости глаза. – Бюл. изобр. – № 19, II ч. – 1999.
4. Пудов В. И., Реутов Ю. Я., Коротких С. А. // Патент РФ № 2132640. Устройство для определения местоположения инородного ферромагнитного тела при малотравматичных операциях. – Бюл. изобр. – № 19, II ч. – 1999.
5. Богденко В. А. Феррозондовый магнитометр с миниатюрным датчиком // Приборы и техника эксперимента. – 1993. – № 5. – С. 157–160.
6. Реутов Ю. Я., Пудов В. И. О компенсации ложных сигналов градиентометрического феррозонда // Дефектоскопия – 1998. – № 2. – С. 18–22.
7. Реутов Ю. Я., Пудов В. И. Гистерезисные явления при компенсации сигналов феррозондов – градиентометров // Дефектоскопия. – 2000. – № 4. – С. 15–17

8. Пудов В. И., Реутов Ю. Я., Куликов В. А. // Патент РФ № 2053712. Способ балансировки феррозонда с двумя соосно расположенными чувствительными элементами. – Бюл. изобр. – № 4. – 1996.
9. Реутов Ю. Я., Пудов В. И., Волков А. В. Определение расстояния до ферромагнитного объекта с неизвестными магнитными характеристиками // Дефектоскопия. – 2011. – № 9. – С. 37–46.
10. Реутов Ю. Я. Чувствительный феррозондовый магнитометр // Дефектоскопия. – 2008. – № 6. – С. 18–25.
11. Реутов Ю. Я. Синхронный детектор с удвоением напряжения // Схемотехника. – 2007. – № 9. – С. 36–37.
12. Реутов Ю. Я. Классические магнитные экраны. – Екатеринбург : УрО РАН. ИФМ, 2006. – 72 с.